



CARACTERIZAÇÃO FOTOSSINTÉTICA DE PLANTAS JOVENS DE LINHAGEM ELITE DE MAMOEIRO (*Carica papaya* L.)

Rosane Cardoso dos Santos Dias^{1,2}, Viviane Peixoto Borges¹, Sebastião de Oliveira e Silva¹,
Rogério Ferreira Ribas¹, Carlos Alberto da Silva Ledo³, Maria Celeste Marques Rebouças³

¹Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, CEP 44380-000, Cruz das Almas, BA. ²Instituto Federal Baiano - IFBAIANO, CEP 44350-000, Governador Mangabeira, BA. ³Embrapa Mandioca e Fruticultura - CEP 44380-000, Cruz das Almas, BA. E-mail: rosane.dias@gm.ifbaiano.edu.br, vivipborges@yahoo.com.br, ssilva3000@gmail.com, ribas@ufrb.edu.br, carlos.ledo@embrapa.br

INTRODUÇÃO

A cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) é de grande importância para o agronegócio brasileiro, sendo uma importante fonte de divisas para o país. Esta espécie apresenta bom desenvolvimento vegetativo em regiões de alta insolação e com temperaturas variando de 21 °C a 33 °C, devido a sua origem em ambientes tropicais (CAMPOSTRINI; GLENN, 2007; SERRANO; CATTANEO, 2010).

As respostas fisiológicas do mamoeiro às interações entre os fatores do ambiente e a constituição genética podem contribuir para o desenvolvimento de programas mais eficientes de zoneamento agrícola e de melhoramento genético (CAMPOSTRINI; GLENN, 2007).

De acordo com Santos et al. (2010), as medidas de trocas gasosas são significativas para a determinação de taxas fotossintéticas, porém podem não ser eficientes para avaliar os efeitos deletérios nos cloroplastos; desta maneira e segundo esses autores, a avaliação da fluorescência da clorofila a revela o nível de excitação da energia que dirige a fotossíntese e fornece subsídios para estimar a inibição ou o dano no processo de transferência de elétrons do PSII.

As alterações na assimilação fotossintética de CO₂ em plantas de mamoeiro não estão somente associadas aos efeitos estomáticos, outro mecanismo é o arranjo anatômico da copa foliar, que nas situações de elevados valores de densidade dos fluxos de fótons fotossintéticos, incidentes nas plantas, as folhas se mantêm paralelas em relação aos raios solares detectado, com um movimento paraeliotrópico, observado nos horários mais quentes do dia (REIS; CAMPOSTRINI, 2008).

Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar o desempenho fotossintético da linhagem elite de mamoeiro L78, na fase vegetativa, em condição de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em área de produção de mamão localizada na comunidade da Tapera, Zona Rural do município de Cruz das Almas, BA, situada no Recôncavo Baiano, a 12°40'19" de latitude Sul, 39°06'22" de longitude Oeste de Greenwich e 220 m de altitude. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw (tropical quente e úmido, com estação chuvosa e seca). A precipitação média anual é de aproximadamente 1.000 mm, a umidade relativa do ar de 80%, e temperatura média de 24,5 °C (INMET, 2012). O experimento foi montado em junho de 2017, foram avaliadas 25 plantas da linhagem elite de mamoeiro L78, na fase de desenvolvimento vegetativa, após três meses de plantio em campo.

Foram realizadas, na terceira folha expandida, as seguintes mensurações de trocas gasosas: taxas de assimilação líquida de carbono (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), eficiência de uso da água (EUA) e a razão entre a concentração interna e atmosférica de CO_2 (C_i/C_a) obtidas por meio de um medidor portátil de fotossíntese, modelo LI-6400XT (LI-COR Biosciences Inc., Nebraska, USA).

As medições foram tomadas das 8:00 h às 12:00 h, sob concentração de CO_2 , temperatura e vapor de H_2O do ambiente do local de estudo, sendo o ar de referência coletado a 50 cm de altura do solo e homogeneizado em um galão de 10 L antes de alcançar a câmara foliar.

As medidas de fluorescência da clorofila a foram obtidas utilizando um fluorômetro portátil modulado OS5p-Opti-Sciences, Hudson, USA. O rendimento quântico potencial do fotossistema II (FSII) foi calculado após 30 minutos de adaptação ao escuro como $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ (VAN KOOTEN; SNEL, 1990). O rendimento das vias competitivas de desexcitação da energia absorvida no FSII: rendimento quântico efetivo, $Y(\text{II})$; rendimento quântico de dissipação regulada, $Y(\text{NPQ})$; e o rendimento quântico de dissipação não-regulada, $Y(\text{NO})$; foram determinados de acordo com Kramer et al. (2004) e Klughammer e Schreiber (2008).

Para as variáveis obtidas foram calculadas as estatísticas descritivas: valores mínimos e máximos, média, desvio padrão e coeficiente de variação. Foi realizado teste de normalidade de Shapiro-Wilks, calculados os coeficientes de correlação de Pearson e Spearman e suas significâncias testadas pelo teste t de student a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas pelo programa estatístico R (R CORE TEAM, 2014) e Genes (CRUZ, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 01, são apresentados os resultados da análise estatística descritiva para as variáveis de trocas gasosas. Verifica-se uma taxa de assimilação líquida de carbono (A) variando de 5,25 a 20,80 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, considerada baixa quando comparada com valores relatados de 25 a 30 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para *Carica papaya* (CAMPOSTRINI; YAMANISHI, 2001). Esses valores baixos de A foram devidos à baixa condutância estomática (g_s média de 0,23 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) verificada nas folhas das plantas para uma condição de umidade

do ar de 85%, uma temperatura em torno de 20 °C e ausência de nuvens com maior densidade de fluxo de fótons fotossintéticos, durante as avaliações.

Esses resultados podem ser explicados pelos efeitos estomáticos e pela dependência dos fatores do ambiente sobre a assimilação fotossintética de CO₂ de plantas da linhagem elite de mamoeiro L78. Outro fator que pode contribuir para um baixo desempenho fotossintético é a falta de equilíbrio nutricional das plantas principalmente com relação a nitrogênio e o potássio.

Tabela 1. Valores mínimo e máximo, média, desvio padrão, coeficiente de variação e teste de normalidade de Shapiro-Wilks (W) para as variáveis taxa de assimilação líquida de carbono (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência de uso da água (EUA), concentração interna de CO₂ (Ci, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) e razão entre a concentração interna e atmosférica de CO₂ (Ci/Ca,) de 25 plantas da linhagem de mamoeiro L78, Cruz das Almas - BA

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	CV (%)	W
A	5,25	20,80	16,53	1,84	11,14	0,93**
gs	0,06	0,35	0,23	0,05	23,33	0,95**
E	1,25	5,14	4,30	0,66	15,23	0,90**
EUA	3,25	5,00	3,89	0,38	9,87	0,97**
Ci	166,00	275,00	235,10	21,38	9,09	0,94**
Ca	382,00	413,67	393,80	4,61	1,17	0,60**
Ci/Ca	0,44	0,73	0,63	0,63	9,07	0,90**

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Shapiro-Wilks.

Na Tabela 2, estão apresentados os coeficientes de correlação de Spearman, devido a não distribuição normal dos dados detectado, pelo teste de Shapiro-Wilks (W) nas variáveis estudadas (Tabela 1). Observa-se que houve correlação significativa a 5% de probabilidade pelo teste t, alta e positiva, entre A e gs, gs e E, gs e Ci, gs e Ci/Ca, E e Ci/Ca e entre Ci e Ci/Ca (Tabela 2). Reis e Campostrini (2008) também constataram dependência da assimilação fotossintética de CO₂ com gs.

Quanto mais próximo de 1, o coeficiente de correlação, maior a possibilidade da estimativa de uma variável a partir do cálculo de outra. Neste sentido as mais altas correlações, apresentadas na Tabela 2, foram entre condutância estomática e transpiração (0,93) e entre a razão da concentração interna e atmosférica de CO₂ (0,99). Para a eficiência de uso da água (EUA) todas as correlações com as variáveis mensuradas foram negativas à exceção da correlação com a concentração atmosférica de CO₂, ou seja (EUA e Ca), cujo valor foi de 0,43 (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Spearman para as variáveis taxa de assimilação líquida de carbono (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (Ci, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), eficiência de uso da água (EUA) e razão entre a concentração interna e atmosférica de CO_2 (Ci/Ca,) avaliadas em 25 plantas da linhagem de mamoeiro L78 em Tapera, Cruz das Almas, BA

Variáveis	Gs	E	EUA	Ci	Ca	Ci/Ca
A	0.81**	0.72**	-0.13*	0.46**	0.26**	0.50**
gs		0.93**	-0.56**	0.83**	0.07 ^{ns}	0.86**
E			-0.73**	0.74**	-0.15*	0.80**
EUA				-0.65**	0.43**	-0.69**
Ci					0.14*	0.99**
Ca						0.08 ^{ns}

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade.

Na Tabela 03, são apresentados os resultados da análise estatística descritiva para as variáveis de fluorescência da clorofila *a*. Observa-se que a relação fluorescência variável e máxima Fv/Fm variou de 0,70 a 0,79 valores próximos dos relatados (0,78 e 0,83) para folhas de mamão, completamente, expandidas e crescidas em pleno sol (REIS; CAMPOSTRINI, 2008). Valores da relação Fv/Fm entre 0,75 e 0,85, são considerados ideais em tecidos fotossintéticos sadios e indicam que 75 a 85 % dos fótons absorvidos pelos pigmentos fotossintéticos do PSII podem promover redução na quinona A (BOLHÀR NORDENKAMPF et al., 1989).

Tabela 3. Valores mínimo e máximo, média, desvio padrão, coeficiente de variação e teste de normalidade de Shapiro-Wilks (W) para as variáveis fluorescência mínima, (F₀, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); fluorescência máxima (Fm, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm rendimento quântico efetivo, Y(II); rendimento quântico de dissipação regulada, Y(NPQ) e o rendimento quântico de dissipação não-regulada, Y(NO) de 25 plantas da linhagem de mamoeiro L78 em Cruz das Almas, BA

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	CV (%)	W
F ₀	201,00	278,00	225,84	15,19	6,73	0,89**
Fv/Fm	0,70	0,79	0,76	0,02	2,87	0,94 ^{ns}
Y(II)	0,24	0,39	0,30	0,04	12,91	0,96 ^{ns}
Y(NO)	0,13	0,22	0,20	0,02	10,57	0,94 ^{ns}
Y(NPQ)	0,41	0,57	0,50	0,05	9,53	0,95 ^{ns}

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Shapiro-Wilks. ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade.

Na Tabela 4, estão apresentados os coeficientes de correlação de Pearson devidos a distribuição normal dos dados para as variáveis testadas pelo teste de Shapiro-Wilks (W). A relação Fv/Fm apresentou baixa

correlação positiva com o rendimento quântico efetivo, Y(II) e com o rendimento quântico de dissipação regulada, Y(NPQ) já com o rendimento quântico de dissipação não-regulada, Y(NO) a correlação foi negativa.

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis fluorescência mínima, (F_0 , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); fluorescência máxima (F_m , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); rendimento quântico efetivo, Y(II); rendimento quântico de dissipação regulada, Y(NPQ) e o rendimento quântico de dissipação não-regulada, Y(NO) avaliadas em 25 plantas da linhagem de mamoeiro L78 em Tapera, Cruz das Almas, BA

Variáveis	Fv/Fm	Y(II)	Y(NO)	Y(NPQ)
F_0	-0.77**	-0.57**	0.12 ^{ns}	0.42*
Fv/Fm		0.14 ^{ns}	-0.44*	0.08 ^{ns}
Y(II)			0.19 ^{ns}	-0.91**
Y(NO)				-0.59**

** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. ^{ns}não significativo a 5% de probabilidade.

CONCLUSÃO

Nesse estudo, a taxa de assimilação líquida de carbono nas folhas de mamoeiro da linhagem elite L78, na fase vegetativa em condição de sol foi em média $16,53 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

E a relação fluorescência variável e fluorescência máxima Fv/Fm foi em média de 0,76 em folhas de mamoeiro da linhagem elite L78, completamente expandidas.

REFERÊNCIAS

- BOLHÀR- NORDENKAMPF, H. R., LONG, S. P., BAKER, N. R., ÖQUIST, G., SCHREIBER, U., LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, 3:497-514, 1989
- CAMPOSTRINI, E.; GLENN, D. M. Ecophysiology of papaya: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 413-424, 2007.
- CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O. K. Influence of mechanical root restriction on gas-exchange of four papaya genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiol.** 13:129-138, 2001.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes - Aplicativo computacional em genética e estatística**. 2014. Disponível em: www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm
- EHLERINGER, J. Leaf absorptances of Mohave and Sonoran desert plants. **Oecologia**, v.102, p.366-370, 1981.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília-DF. 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>.

KLUGHAMMER, C.; SCHREIBER, U. Complementary PSII quantum yield calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and saturation pulse method. **PAM Application Notes**, v.1, p. 27-35, 2008.

KRAMER, D. M.; JOHNSON, G.; Kiirats, O.; Edwards, G. E. New fluorescence parameters for the determination of QA redox stat and excitation energy fluxes. **Photosynthesis Research**, v.79, p.209-218, 2004.

LAISK, A., LORETO, F. Determining photosynthetic parameters from leaf CO₂ exchange and chlorophyll fluorescence. **Plant Physiology**, v.110, p.903-912, 1996.

REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro. **Revista Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.815-822, 2008.

SANTOS, C. M.; GONÇALVES, E. R.; ENDRES, L.; GOMES, T. C. A.; JADOSKI, C. J.; NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. D. Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, p.95-102, 2010.

SERRANO, L. A. L.; CATTANEO, L. F. O cultivo do mamoeiro no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 657-959, 2010.

VAN KOOTEN, O.; SNEL, J. F. H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v.25, p.147–150, 1990.